Manglar

Manglar 17(2): 105-111, 2020

Biochar de biomasa residual de eucalipto (*Eucalyptus globulus*) mediante dos métodos de pirólisis

Biochar of residual biomass from eucalyptus (*Eucalyptus globulus*) by two pyrolysis methods

Sergio Iglesias-Abad[1]*; Manuel Alvarez-Vera[1,2]; Jacinto Vázquez[3]; Carlos Salas Macías[4]

1 Carrera de Ingeniería Ambiental, Universidad Católica de Cuenca, General Torres y Av. De las Américas, Cuenca, Ecuador.
2 Jefatura de Posgrados, Universidad Católica de Cuenca, Camino a Patamarca y Cojimíes sector Uncovía, Cuenca, Ecuador.
3 Carrera de Ingeniería Agronómica, Universidad Católica de Cuenca. Panamericana Norte Km 2½, Cuenca, Ecuador.
4 Departamento de Agronomía, Facultad de Ingeniería Agronómica, Vía Portoviejo Santa Ana Km 15, Universidad Técnica de Manabí, Portoviejo, Ecuador.

*Autor corresponsal: siglesias@ucacue.edu.ec (S. Iglesias-Abad).

ID ORCID de los autores
S. Iglesias-Abad: https://orcid.org/0000-0001-5568-6079
M. Alvarez-Vera: https://orcid.org/0000-0002-2521-0042
J. Vázquez: http://orcid.org/0000-0002-7960-7491
C. Salas Macías: https://orcid.org/0000-0002-1641-1571

RESUMEN

El presente estudio se basa en la determinación de procedimientos adecuados para los procesos de transformación de la materia orgánica por acción de operaciones de pirolisis rápida y lenta. La fabricación controlada del biochar permite obtener un producto que cumpla características que benefician a la producción agropecuaria, permitiendo la germinación de semillas, mejorando la estructura de los suelos y además con potencialidades muy amplias en la remediación ambiental. La investigación generó biochar de biomasa residual de la especie eucalipto (*Eucalyptus globulus*) a partir de ramas y cortezas, mediante dos métodos pirolíticos: uno de forma rápida en horno de pirólisis con doble cámara y el otro de forma lenta, realizando el proceso bajo tierra. El trabajo desarrollado validó los dos procedimientos de obtención del biochar de eucalipto y el diseño de un horno pirolítico, estableciendo parámetros de rendimiento y temperaturas óptimas de pirólisis. El análisis de los resultados, muestra un biocarbón con amplias capacidades de utilización tanto en la aplicación al suelo como en la remediación ambiental. Para aceptar la calidad del biochar obtenido y las dosis efectivas que no ocasionen fitotoxicidad, se realizaron pruebas de germinación en semillas de maíz.

Palabras clave: Biochar; biomasa residual; carbón de eucalipto; pirólisis lenta; pirólisis rápida.

ABSTRACT

The present study is based on the determination of suitable procedures for the processes of transformation of organic matter by action of fast and slow pyrolysis operations. The controlled manufacture of biochar allows obtaining a product that meets characteristics that benefit agricultural production, allowing seed germination, improving the structure of soils and with broad potentials in environmental remediation. The research generated biochar of residual biomass of the eucalyptus species (Eucalyptus globulus) consisting of branches and barks was generated using two methods: a pyrolysis oven with double chamber which is a faster process and the other by carrying out the process underground which is a slower process. The work developed validates the two procedures for obtaining the eucalyptus biochar, and the design of a pyrolytic furnace, establishing performance parameters and optimal pyrolysis temperatures. The analysis of the results shows a biochar with broad capacities of use both in its application to the soil and in the environmental remediation.
To accept the quality of the biochar obtained and the effective doses that do not cause phytotoxicity, germination tests were carried out on corn seeds.

Keywords: Biochar; residual biomass; eucalyptus charcoal; slow pyrolysis; fast pyrolysis.

Recibido: 10-04-2020.
Aceptado: 12-05-2020.

DOI: http://dx.doi.org/10.17268/manglar.2020.016

VISIT…

LANZAROTE Caliente.COM

INTRODUCCIÓN

La búsqueda creciente por reutilizar la biomasa residual de muchas especies vegetales derivadas en actividades y productos que generen menor impacto ambiental, ha llevado a desarrollar metodologías alternativas que potencialicen la recirculación de nutrientes y produzcan el menor impacto ambiental. De la misma manera la elaboración de biochar se ha venido realizando mediante diferentes formas de pirólisis, cuyos procesos y equipos no han sido descritos en su totalidad, aspecto que puede ser determinante en las características y efectos del producto obtenido (Escalante *et al*., 2016).

El biochar o biocarbón es una tecnología ancestral que ya fue utilizada por antiguos pobladores en diferentes regiones del mundo. Fue una práctica común de tiempos pasados cuando se utilizó la leña para la cocción de alimentos y calefacción, que los residuos carbonosos y cenizas fueran distribuidas en las huertas caseras para reincorporar nutrientes al suelo y sanear los cultivos, asegurando una mejor condición de los suelos para la germinación y el desarrollo de las plantas.

El biochar o biocarbón, se ha relacionado con la gestión del suelo llevada a cabo por diferentes culturas amerindias antes de la llegada de los europeos, como la *"terra preta"* en Brasil. El uso del biocarbón de eucalipto, aplicado en dosis apropiadas es una técnica que ha demostrado proveer beneficios al suelo plantas y ambiente, aumentando la fertilidad a través de la influencia en sus propiedades físicas, químicas y biológicas y consecuente al desarrollo de las plantas, además contribuye al secuestro de carbono en su estructura (Hagemann *et al*., 2017, Iglesias, 2018; Butphu *et al*., 2019).

El biochar (biocarbón) se produce por la transformación mediante la combustión incompleta o parcialmente anaeróbica (pirólisis) de la biomasa a temperaturas de 350-650 °C, lo que promueve un material rico en contenido de carbono y cenizas, que se devuelven al suelo, mejorando las condiciones del mismo. En la actualidad el uso de biochar en actividades agropecuarias ha cobrado notoriedad, como una forma de reciclar nutrientes y gestionar ecosistemas agrícolas, incidiendo en la lucha contra la pérdida de suelo forestal y agrícola, mejorando su fertilidad y evitando su empobrecimiento (Gilces, 2014; Fiallos-Ortega *et al*., 2015).

El biochar de eucalipto es una estrategia asequible de tratamiento de la biomasa residual de los sistemas agroforestales, que tiene las ventajas de recircular nutrientes *in situ* y mejorar las condiciones fisicoquímicas y actividades enzimáticas del suelo aplicándolo como enmienda, además contribuye en el mantenimiento de los nutrientes al interior de la estructura del biochar (Jeffery *et al*., 2015; Wanwipa *et al*., 2019).

El biocarbón se obtiene por un proceso termoquímico de transformación de la estructura molecular de la biomasa y tiene diferentes usos, es un producto alto en contenido de carbono que puede ser producido en hornos, tras calentar biomasa como madera u hojas en un contenedor con poco o ningún aire disponible. En términos generales el biochar se produce mediante transformación térmica de la materia orgánica con un bajo suministro de oxígeno y a temperaturas relativamente bajas con variaciones que dependen del material de pirólisis (Sun *et al*., 2017).

Existen cuatro categorías para la producción de biochar: pirólisis lenta, pirólisis rápida, pirólisis ultrarrápida y gasificación. Actualmente se propone, además, la carbonización hidrotérmica. La pirólisis lenta es el tipo de tecnología más antiguamente utilizado, muy parecido al de la formación de carbón vegetal. La pirólisis rápida se desarrolla en hornos pirolíticos donde existe una cámara de combustión y otra de pirólisis con mínima entrada de oxígeno. En cuanto a la biomasa se han probado diferentes tipos de materiales para la elaboración incluyendo también biomasa de especies resinosas como la del eucalipto (Abenza, 2012; Escalante *et al*., 2016).

En una investigación en la zona andina del Ecuador, se elaboró biochar utilizando dos tipos de biomasa residual de eucalipto mediante dos métodos de pirólisis. El *Eucalyptus globulus* es una planta exótica. La sierra de los Andes está ampliamente poblada por eucalipto blanco o goma azul, especie originaria de Australia y Tasmania (Moreno *et al*., 2010). El eucalipto fue introducido a la región austral del Ecuador en 1870 y se ha integrado plenamente a los ecosistemas andinos, siendo todavía una especie muy desacreditada y relativamente poco estudiada (Iglesias, 2018).

El eucalipto actualmente se constituye como la única fuente de producción de leña y madera para las comunidades rurales, su cultivo a veces controversial por la mala gestión de la especie, ha sido de fundamental importancia porque ha evitado la presión constante sobre los pocos relictos de bosque nativo existente (Grattapaglia y Kirst, 2008; Braun *et al*., 2017; Iglesias *et al*., 2018).

La planta de la especie forestal eucalipto, está ampliamente difundida a lo largo del callejón interandino y proporciona importantes servicios ambientales directos e indirectos, especialmente en la captura y secuestro de carbono, aspecto de mucha importancia en la estrategia mundial para reducir los efectos del cambio climático (Alegre *et al*., 2002; Kanninen, 2003; Timoteo *et al*., 2016; Salas *et al*., 2017).

El deficiente manejo silvicultural que se da a la especie, asociado al deterioro de los suelos, producido por prácticas inapropiadas de gestión de la biomasa residual producida por el desprendimiento de ramas y cortezas, desencadenan una baja productividad de la especie y afectación al recurso suelo. Por esta razón se ha recomendado desarrollar metodologías de utilización de la biomasa residual, principalmente con estrategias que recirculen nutrientes y puedan contribuir a la disminución del impacto ambiental (Manyà, 2012; Iglesias, 2018).

Los objetivos de la investigación fue producir biochar de eucalipto a partir de su biomasa residual

(tanto de ramas como de cortezas) por dos horno pirolítico construido para el efecto) para consecuentemente determinar las características físicas y químicas del producto resultante mediante análisis de laboratorio.
Con el objetivo de establecer las dosis adecuadas, métodos de pirólisis (lenta bajo tierra y rápida en que permitan la correcta germinación de semillas y que no causen bloqueo del proceso germinativo, se probó tres dosis de aplicación de biochar en diluciones aplicadas a semillas de maíz.

MATERIAL Y MÉTODOS

Condiciones del territorio donde se elaboró el biochar
La elaboración del biochar se desarrolló en la zona austral del Ecuador, en la región interandina a una altura de 2600 ms.n.m. localizada en las coordenadas 2° 43' 35" latitud sur y 78° 50' 26" longitud oeste, en la provincia del Cañar. El clima es templado. La temperatura media anual es 15 °C. La humedad ambiental promedio 71%.

Obtención de la biomasa para el biochar
La biomasa residual para la elaboración del biochar, se obtuvo del bosque de eucalipto de la variedad *Eucalyptus globulus*, de la granja de Machangara, de la Unidad Académica de Agricultura, Silvicultura, Pesca y Veterinaria de la Universidad Católica de Cuenca.
Corresponde a un bosque coetáneo y homogéneo de eucalipto en un 90%, con una edad de 50 años. El material vegetal de biomasa residual recogido, fue de dos tipos: uno de ramas desprendidas y otro de cortezas caídas (ritidomas), ambos tipos de biomasa fue material que se desprende naturalmente y se deposita en la superficie del suelo. Para el efecto se buscó uniformidad en los tamaños y diámetros, además toda la muestra vegetal fue recolectada en estado seco.

Preparación de biochar a nivel de laboratorio
Las pruebas de pirólisis de la biomasa se realizaron en el Laboratorio de Calidad de la Empresa Cementera Industrias Guapan del Ecuador contando con sus equipos de precisión. Para determinar la temperatura óptima de pirólisis se realizaron las pruebas de obtención de biochar, con tres temperaturas: 250, 400 y 550 °C valores que establecieron las investigaciones consultadas (Gilces, 2014; Torres-Sallan *et al*., 2014; Sun *et al*., 2017). Las pirólisis fueron realizadas en mufla, comparando después las condiciones del biochar y la ceniza obtenida por tamizado en criba, con material menor de cuatro mm. acorde a lo propuesto por el Departamento de Montes de la FAO.
El procedimiento para elaboración de biochar en el horno de mufla fue: precalentando el horno a 160 ºC e incrementando la temperatura gradualmente a razón de dos grados Celsius por minuto durante dos horas, hasta alcanzar la temperatura total de 400 ºC luego se dejó enfriar la muestra. La biomasa inicial y el material carbonizado obtenido, fueron pesados antes y después del proceso de pirólisis.

Elaboración de biochar por el método de pirólisis rápida en horno pirolítico
Para la construcción del horno de pirólisis, se siguió el diseño propuesto por el Departamento de Montes de la FAO. El horno construido para el efecto como se ve en la Figura 1 fue del tipo retorta con doble cámara. Una externa de combustión y otra interna de pirólisis. Para la construcción del horno se empleó un tanque metálico de 55 galones y dos tanques interiores que funcionaron como reactores de pirólisis, con capacidad de 15 galones cada uno.
Una vez realizado el saneamiento del horno con la primera quema y desechando el producto resultante, se preparó el biochar en forma separada con los dos tipos de biomasa. El tiempo promedio de quema fue entre dos y tres horas, dependiendo de la hora del día y las condiciones ambientales. En cada carga se cuidó de incluir en los reactores el mismo tipo de biomasa. El control de temperatura se realizó mediante un termómetro digital, cuidando de mantener la temperatura óptima de 400 °C.

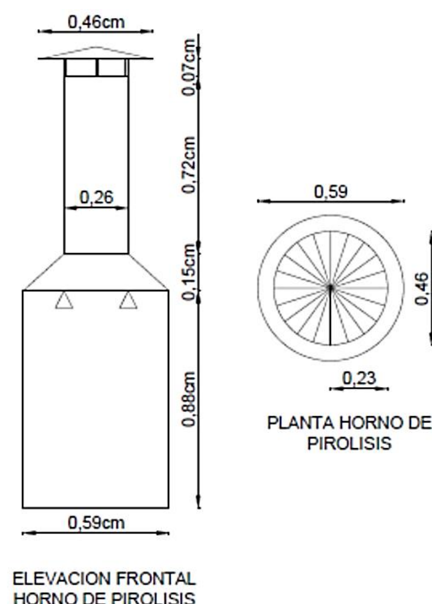


Figura 1. Esquema del horno pirolítico.

Preparación de biochar por el método de pirólisis lenta bajo tierra.
Para este caso se realizó la pirolisis en un hoyo dentro de la tierra, siguiendo el mismo procedimiento ancestral de elaboración de carbón bajo tierra, con restricción de la entrada de oxígeno en el material a carbonizar, es decir cubriendo con tierra y ramas. Este procedimiento duró entre cuatro y seis días, dependiendo de condiciones climáticas, hasta el descenso de la temperatura y poder extraer el carbón cuando se ha detenido la pirólisis.

Caracterización del biochar
Los análisis físico-químicos del biochar obtenido, por los dos métodos de pirólisis y de cada tipo de biomasa, se realizaron en los laboratorios de Análisis de Suelos Plantas, Agua y Fertilizantes (LASPAF) de la Universidad Nacional Agraria La Molina de Lima-Perú (UNALM).

Pruebas de germinación en semillas de maíz
Los ensayos de germinación se realizaron en las instalaciones del laboratorio de Fertilidad de Suelos de la Universidad Nacional Agraria la Molina de Lima (UNALM), con el objetivo de establecer la dosis adecuada de biochar y descartar el posible efecto fitotóxico de la aplicación a la semilla y sus procesos de germinación (Tabla 1). Se empleó material genético de maíz de la variedad PM-213, la misma que fue liberada por la Facultad de Agronomía de la UNALM.

Para la confirmación de posibles efectos perjudiciales producidos por el biochar, se utilizó bandejas de germinación con 20 semillas cada una, durante el proceso se mantuvo condiciones apropiadas de humedad para el desarrollo de las plántulas (Antuna *et al*., 2003).

Tabla 1
Tratamientos de germinación

Material	Tipo de pirólisis	Dosis
Biochar cortezas	lenta	alta–media-baja
Biochar cortezas	rápida	alta–media-baja
Biochar ramas	lenta	alta–media-baja
Biochar ramas	rápida	alta–media-baja
Biomasa cortezas	sin pirólisis	alta–media-baja
Biomasa ramas	sin pirólisis	alta–media-baja
Blanco	sin pirólisis	sin dosis

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Elaboración de biochar a diferentes temperaturas
Para las condiciones del territorio, a los 400 °C de temperatura, se obtuvo los mejores resultados de pirólisis, con un carbón uniformemente transformado en la estructura del biochar y la relación en volumen de ceniza sobre biomasa fue de 8% (Figura 2). A los 250 °C se obtuvo una muestra de biochar con notable cantidad de biomasa aun sin pirolizar. En tanto que a los 550 °C se observó una mayor cantidad de cenizas en el biochar obtenido, especialmente para la biomasa de cortezas.

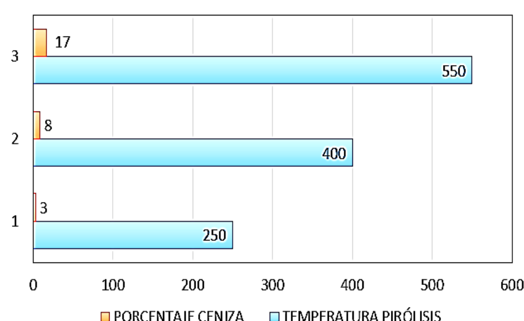


Figura 2. Influencia de la temperatura en la formación de ceniza del biochar.

Relación entre el biochar obtenido y la biomasa pirolizada
El rendimiento (relación peso biomasa /biochar obtenido) encontrado en este estudio, como se expresa en la Figura 3 guarda relación con lo reportado por Escalante *et al.* (2016) quienes refieren que cuando se usan tecnologías de alta eficiencia para la producción de biochar, es posible alcanzar rendimientos en masa de alrededor del 30-40%.
En los diferentes métodos de pirólisis se determinó que es necesario esperar a que termine el proceso de pirólisis, de lo contrario la entrada de oxígeno combustiona el producto y aumenta la proporción de ceniza.

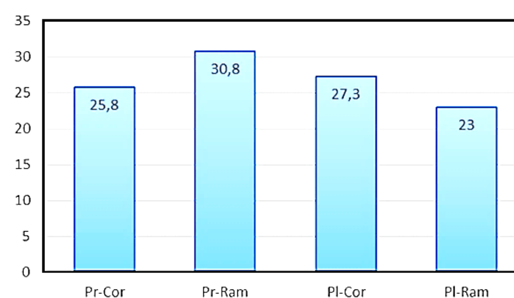


Figura 3. Relación porcentual del biochar obtenido.

Caracterización de los tipos de biochar obtenidos
En la Tabla 2 se presentan los resultados de los análisis de laboratorio de los dos tipos de biomasa pirolizada, mediante los dos procedimientos de elaboración del biochar (pirólisis rápida y pirólisis lenta, además las dos clases de biomasa: ramas y cortezas).

Tabla 2
Resultados del análisis de laboratorio del biochar de *Eucalyptus globulus*

Determi-naciones	Biochar Pir. Rápida		Biochar Pir. Lenta	
	Cortezas	Ramas	Cortezas	Ramas
pH	7,91	11,09	10,36	9,91
C.E. (dS/m)	5,03	6,09	15,5	3,42
N (%)	0,84	0,45	0,59	0.31
P_2O_5 (%)	0,5	0,52	0,54	0,24
K_2O (%)	1,75	1,84	1,94	0,64
C. Total (%)	48,14	47,31	44,56	54,91
Cu (ppm)	18	23	19	9
Zn (ppm)	431	553	856	45
Mn (ppm)	858	1146	903	312
B (ppm)	64	63	60	38
CIC (meq /100 g)	33,6	22,8	15,2	12
CaO (%)	8,65	9,77	11,62	2,53
MgO (%)	1,3	1,04	1,44	0,38
Na (%)	0,17	0,15	0,14	0,11
S (%)	0,11	0,1	0,22	0,11
D. Apar. Seca	0,337	0,46	0,364	0,601

Laboratorio de Análisis de suelos, Plantas, Agua y Fertilizantes LASPAF-UNALM.

Potencial Hidrógeno (pH). Los valores fluctúan entre 7,91 y 11,09. El pH alto en el biochar es favorable para suelos ácidos, por cuanto puede actuar como compensador de acidez y con potencialidades para la remediación ambiental de aguas ácidas. Los datos obtenidos en este trabajo guardan relación con los estudios de: Yadav *et al*. (2016) en el trabajo sobre biochar elaborado a diferentes temperaturas para modificar suelos, reporta valores de pH entre 8,92 y 11,14. Torres-Sallan *et al*. (2014) refieren para su biochar elaborado por pirólisis lenta con cepas de vid que han cumplido su ciclo de producción un pH de 10,5. Guerra (2014) en su trabajo de biochars en la Amazonía peruana, producidos por pirólisis lenta en horno y analizados igualmente en los laboratorios de la UNALM, obtuvo pH entre 7,14 hasta 10,74. Curiel (2016) en el estudio de producción de biochar a temperaturas de 350 a 600 ^{0}C, describe pH en un rango de 7,97 a 10,35.

Conductividad eléctrica (CE). Para la CE se aprecia diferencias entre los tipos de biochar, especialmente con la pirólisis lenta de cortezas que tiene el mayor valor, aspecto que está directamente relacionado con el contenido de sales en el ritidoma. En la investigación realizada en la Amazonía peruana, se encontraron valores de 6,91 dS/m (Guerra, 2014).

Nitrógeno (%). Los niveles del nitrógeno de este estudio están en rangos de 0,31 a 0,84%, siendo el biochar por pirólisis rápida de ramas el que logra el mayor nivel. Este aspecto contribuye al desarrollo de vida microbiana y la recuperación de suelos. Los valores son coincidentes con lo encontrado con cepas de vid que establece un porcentaje de 0,4% (Torres-Sallan *et al*., 2014). El estudio de caracterización de 60 tipos de biomasa en China establece rangos de 0,29 a 4,19% (Sun *et al*., 2017).

Fósforo (%). El contenido de fósforo presente en el biochar obtenido a partir de los diferentes procesos de pirólisis y la biomasa del eucalipto, es similar en niveles del 0,50 % a excepción del biochar por pirólisis lenta de ramas. Este aspecto podría incrementar procesos eutrofizantes en medio acuoso. Torres-Sallan *et al*. (2014) refieren un contenido de fósforo de 1,27% para el biochar de viñedos, por lo que se observa que el tipo de biomasa es determinante en los contenidos de elementos. Kamara *et al*. (2015) encontró incremento del fósforo en suelo con el estudio sobre biochar aplicado al cultivo de arroz.

Potasio (%). Para este elemento se encontraron valores de 0,20 a 1,94%. Los biochars por pirólisis lenta de cortezas y pirólisis rápida de ramas y cortezas tienen los mayores valores, estos datos tienen relación con el estudio de Torres-Sallan *et al*. (2014) que indican un valor de 1,6% de potasio.

Cenizas en laboratorio. Los valores encontrados en cenizas estuvieron entre el 5,33 y 23,18%. Esta condición permite una mayor disponibilidad de nutrientes al usar el biochar como enmienda, sin embargo, demasiada ceniza sería indicador de alteración de la estructura física del biochar, resultado del análisis de ceniza obtenida en criba, de la misma forma las cenizas tienen efecto alcalinizante, que puede ser de utilidad para la remediación ambiental (Hoffman *et al*., 2016). En la investigación elaboración de biochar a diferentes temperaturas, Curiel (2016) reportó valores de ceniza en laboratorio entre 8,24 y 15,24%.

Carbono total (%). La cantidad de carbono total en el biochar no difiere mayormente del que contiene la biomasa de eucalipto con 56%. Los rangos de carbono total en el biochar de este estudio varían de 44,56 a 54,91% lo que confirma la capacidad del biochar para conservar buena parte del carbono y mantenerlo en su estructura molecular (Iglesias *et al*., 2018). En China el estudio de caracterización de 60 tipos de biomasa convertidos en biochar, demostró valores de carbono de 26,61 a 53,26% de acuerdo con la biomasa (Sun *et al*., 2017). Guerra (2014) encontró valores de carbono en los ocho biochars estudiados con rangos que fluctuaron entre 34,92 y 89,47%.

Elementos disponibles (ppm). La caracterización de la biomasa y el biochar a nivel de laboratorio muestra mayor cantidad de elementos disponibles en la materia pirolizada que en la biomasa sin tratar, en lo que respecta a los microelementos especialmente para: cobre, zinc, manganeso y boro, razón por la que el biochar aporta con elementos que están disponibles para las plantas (Escalante *et al*., 2016; Butphu *et al*., 2019).
Mukherjee y Lal (2016) encontraron evidencias de mejora en las condiciones de los suelos con biochar.

Relación entre el biochar, la biomasa sin pirólisis y los elementos analizados

Los resultados del análisis de la Figura 4 señalan que con los dos primeros componentes es posible explicar el 90,7% de la variación total. Es destacable el aumento de algunos compuestos como Mn, MgO, Cu, CaO, Zn, K2O, Na, B, P2O5, S y la conductividad eléctrica, variables estrechamente correlacionadas que aumentan durante la prirólisis rápida de ramas, si se compara ésta con los demás tratamientos. Varias de estas características se replican en menor proporción cuando se realiza la pirólisis lenta de cortezas, con la diferencia de que ésta se encuentra más asociada a cambios en el pH. De igual manera, es posible observar que el carbono total y densidad aparente son mayores en biomasa de ramas de eucalipto. Sin embargo, estas últimas variables (carbono total y densidad aparente) aunque se encuentran estrechamente conexas, guardan una correlación negativa con los elementos asociados a la prirólisis rápida de ramas y prirólisis lenta de cortezas.
Estos resultados confirman que, en su composición, la biomasa de eucalipto se diferencia notoriamente con la materia pirolizada (biochar), lo que indica el cambio en la estructura y composición del biocarbon con los elementos que contiene, confirmando los estudios anteriormente realizados en biochar de eucalipto (Butphu *et al*., 2019).

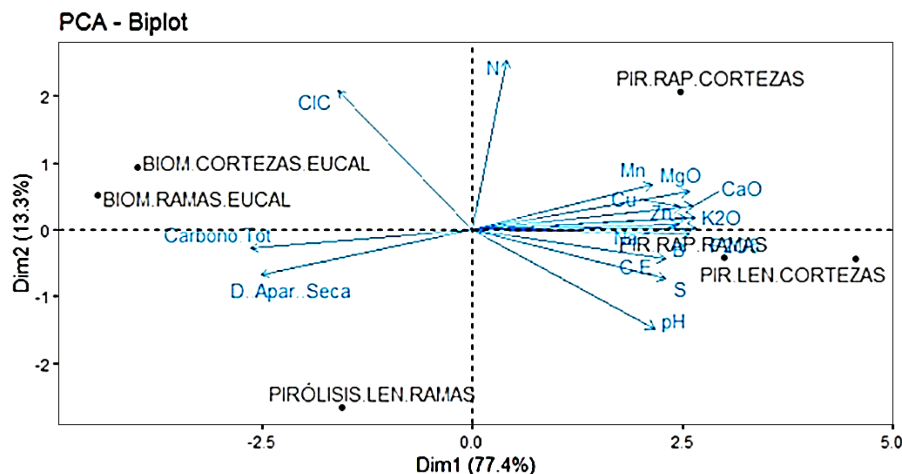


Figura 4. Análisis de componentes principales para biomasa y biochar.

Pruebas de germinación en semillas

Las propiedades del biochar de eucalipto en dilución tienden a la alcalinidad (Figura 5), las dosis altas, especialmente con biochar de cortezas por pirolisis lenta, mostraron un mayor pH por la alcalinidad de la ceniza, lo que no resultó totalmente favorable para la germinación de las semillas. La biomasa sin pirolizar, tanto de ramas cuanto, de cortezas, también mostraron condiciones de pH muy bajos, escenarios que resultan desfavorables para la germinación, por la acidez que se produce al hidrolizarse, situación que presenta el eucalipto con la alelopatía que produce la biomasa residual al depositarse en el suelo.

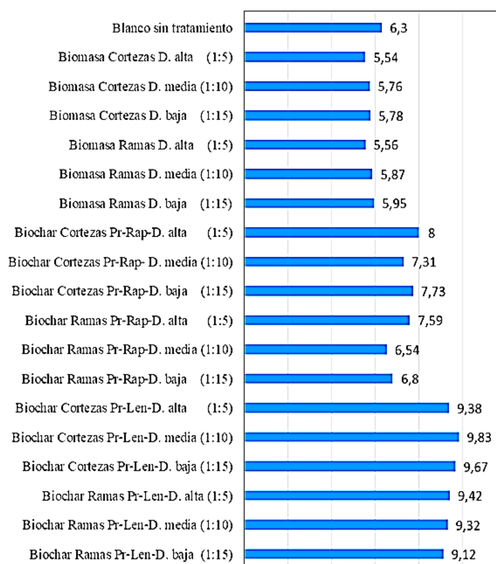


Figura 5. pH de los tratamientos en diluciones iniciales de biomasa y biochar.

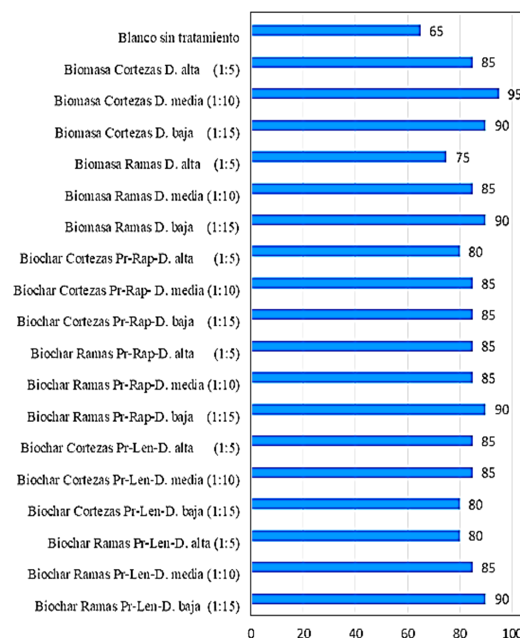


Figura 6. Resultados de la germinación de los tratamientos

Los resultados del proceso en lo concerniente a brotes de radículas, crecimiento de gémulas del embrión de las semillas y desarrollo de plántulas; los mayores porcentajes de germinación se lograron con la dosis media de dilución 1/10 de biochar agua. La investigación en *Medicago sativa* realizada en la provincia de Chimborazo Ecuador, aplicó 10 t ha^{-1} por los requerimientos de alcalinidad de la especie (Fiallos-Ortega *et al*., 2015).

CONCLUSIONES

El mejor resultado para elaboración de biochar, se consiguió a los 400 °C con la relación ceniza sobre carbón del 8%. Para la pirólisis rápida, se obtuvo una mayor cantidad de biochar en peso a partir de biomasa de ramas 30,8%. En la pirólisis bajo tierra existe mayor dificultad para el control de temperatura.

Se comprobó que en forma general el proceso de pirólisis mejora las condiciones de disponibilidad de elementos que pueden ser aprovechados por las

plantas. El incremento de pH que se logra con el proceso de pirólisis, permite que el biochar pueda ser utilizado como un neutralizador de suelos y sustratos ácidos y para actividades de remediación de elementos contaminantes.

Los resultados del análisis de laboratorio para los diferentes tipos de biochar, mostraron que la disponibilidad de elementos es mayor en la materia pirolizada para los macroelementos de fósforo y potasio; y en lo que respecta a los microelementos para: cobre, zinc, manganeso y boro.

El porcentaje de carbono tiene rangos similares en la materia pirolizada y en la biomasa, lo que ratifica las capacidades ambientales del biochar para conservar el carbono de la biomasa sin que regrese a la atmósfera, contribuyendo a la disminución del calentamiento global.

Cuando la temperatura se eleva durante el proceso de pirólisis, se produce la excesiva formación de cenizas, especialmente para la pirólisis bajo tierra, que se reflejó en los niveles de pH y en la conductividad eléctrica, principalmente al tratar cortezas bajo tierra. En ambos casos la entrada de oxígeno cuando no ha concluido la pirolisis, puede alterar los resultados.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abenza, D. 2012. Evaluación de efectos de varios tipos de biochar en suelo y planta. Tesis de fin de carrera. Universidad Autónoma de Barcelona España. 111 pp.

Alegre, J.; Arevalo, L.; Ricse, A. 2002. Reservas de Carbono con Diferentes Sistemas de Uso de la Tierra en dos Sitios de la Amazonia Peruana. ICRAF/INIA. 2002.

Butphu, S.; Rasche, F.; Cadisch, G.; Kaewpradit, W. 2019. Eucalyptus biochar application enhances Ca uptake of upland rice, soil available P, exchangeable K, yield, and N use efficiency of sugarcane in a crop rotation system. Journal Plant Sciences and Soil Science 183(1): 58-68.

Braun, AC.; Troeger, D.; Garcia, R.; Aguayo, M.; Barra, R.; Vogt, J. 2017. Assessing the impact of plantation forestry on plant biodiversity: A comparison of sites in Central Chile and Chilean Patagonia. Global Ecology and Conservation 10: 159-172.

Curiel, M. 2016. Caracterización de residuos de vid transformados a biochar. Tesis de titulación en Enología Universidad de Valladolid. España. 87 pp.

Escalante, A.; Pérez, G.; Hidalgo, C.; López, J.; Campo, J.; Valtierra, E.; Etchevers, J. 2016. Biobarbon (Biochar) I Naturaleza, fabricación y uso en el suelo. Red de revistas científicas de América Latina 34(3): 367-382.

Fiallos-Ortega, L.; Flores-Mancheno, L.; Duchi-Duchi, N.; Flores-Mancheno, C.; Baño-Ayala, D.; Estrada-Orozco L. 2015. Restauración ecológica del suelo aplicando biochar (carbón vegetal), y su efecto en la producción de Medicago sativa. Ciencia y Agricultura 12(2): 13-20.

Gilces, MA. 2014. Efectos de la aplicacion de biochar y cenizas en las propiedades del suelo. Tesis de Máster. Universidad de Valladolid. España. 120 pp.

Grattapaglia, D.; Kirst, M. 2008. Eucalyptus applied genomics: From gene sequences to breeding tools. New Phytologist 179(4): 911-929.

Guerra, P. 2014. Producción y caracterización de Biochar a partir de la biomasa residual de sistemas agroforestales y de agricultura convencional en la Amazonía Peruana. Tesis de Grado. 101 pp.

Hagemann, N.; Joseph, S.; Schmidt, H.; Kammann, CI.; Harter, J.; Borch, T.; Young, RB.; Varga, K.; Taherymoosavi, S.; Elliott, KW. 2017. Retention and stimulation of soil fertility. Nature Communications 1: 1-11.

Hoffman, T.C.; Zitomer, D.H.; Mcnamara, P.J. 2016. Pyrolysis of Wastewater Biosolids Significantly Reduces Estrogenicity. Journal of Hazardous Materials 317: 579-584.

Iglesias, S. 2018. Aplicación de biochar a partir de biomasa residual de eucalipto para evaluar la productividad con maíz en el austro ecuatoriano. Tesis Doctorado en Ingeniería y Ciencias Ambientales. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima Perú. 146 pp.

Iglesias, S.; Alegre, J.; Salas, C.; Egüez, J. 2018. El rendimiento del maíz (*Zea mays* L.) mejora con el uso del biochar de eucalipto. Scientia Agropecuaria 9(1): 25-32.

Jeffery, S.; Bezemer, TM.; Cornelissen, G.; Kuyper, TW.; Lehmann, J.; Mommer, L.; Sohi, SP.; van de Voorde, TFJ.; Wardle, DA.; van Groenigen, JW. 2015. The way forward in biochar research: Targeting trade-offs between the potential wins. GCB Bioenergy 7(1): 1-13.

Kamara, A.; Hawanatu, S.; Saimah, M. 2015. Effect of Rice Straw Biochar on Soil Quality and the Early Growth and Biomass Yield of Two Rice Varieties. Scientific Research Publishing 3: 798-806.

Kanninen, M. 2003. Secuestro de Carbono en bosques, su papel en el ciclo global. Depósito de documentos de la FAO. Consultado 24 oct. 2017. Disponible en: http://www.fao.org/docrep/006/y4435s/y4435s09.htm

Manyà, J. 2012. Pirólisis para fines de biochar: una revisión para establecer brechas de conocimiento actuales y necesidades de investigación. Environmental. Sience & Technology 46(15): 7939-7954.

Moreno, J.C.; López, G.; Siche, R. 2010. Modeling and optimization of extraction process of eucalyptus essential oil (*Eucalyptus globulus*). Scientia Agropecuaria 1: 147-154.

Mukherjee, A.; Lal, R. 2016. Biochar and Soil Characteristics Biochar and Soil Characteristics. Encyclopedia of Soil Science. March: 3-8.

Salas, C.; Alegre, J.; Iglesias, S. 2017. Estimation of above-ground live biomass and carbon stocks in different plant formations and in the soil of dry forests of the Ecuadorian coast. Food and Energy Security 2007: 1-7.

Sun, X.; Shan, R.; Li, X.; Pan, J.; Liu, X.; Deng, R.; Song, J. 2017. Characterization of 60 types of Chinese biomass waste and resultant biochars in terms of their candidacy for soil application. GCB Bioenergy 9(9): 1423-1435.

Timoteo, K.; Remuzgo, J.; Valdivia, L.; Sales, F.; Soria, DG.; Abanto, C. 2016. Estimation of Carbon Storage in Three Agroforestry Systems During the First Year of Installation in the Department of Huanuco. Folia Amazónica 25(1): 45-54.

Torres-Sallan, G.; Ortiz, O.; Ubalde, J.M.; Sort, X.; Alcañiz, J.M. 2014. El biocarbón (biochar): una forma de secuestrar carbono y de transferir menos contaminantes al subsuelo y acuíferos. Jornades Ambientals sobre Contaminació d'Aigua del Subsòl 1: 40037.

Wanwipa, K.; Banyong, T. 2019. Impact of Eucalyptus biochar application to upland rice-sugarcane cropping systems on enzyme activities and nitrous oxide emissions of soil at sugarcane harvest under incubation experiment. Journal of plant nutrition 42(4): 362-373.

Yadav, A.; Ansari, KB.; Simha, P.; Gaikar, VG.; Pandit, AB. 2016. Vacuum pyrolysed biochar for soil amendment. Resource-Efficient Technologies 2: S177-S185.